

10/509553  
28 SEP 2004

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 16 JUN 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 14 159.2

**Anmeldetag:**

28. März 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht  
und mit einer derartigen Referenzschicht versehene  
MRAM-Speicherzelle

**IPC:**

H 01 L 27/22

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 02. April 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**

Im Auftrag

Feuer

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER



European Patent Attorneys – European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17  
D-81667 München

Anwaltsakte:

12116

Ko/Ant/si

Anmelderzeichen:

2002 02523  
(2001 E 04312 DE,  
2001 E 04314 DE)

28.03.2002

**Infineon Technologies AG**  
St.-Martin-Strasse 53  
81669 München

---

**Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht und mit einer derartigen  
Referenzschicht versehene MRAM-Speicherzelle**

---

# Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht und mit einer derartigen Referenzschicht versehene MRAM-Speicherzelle

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine mit einer derartigen Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzelle. Eine derartige Referenzschicht besteht aus zwei magnetisch gekoppelten Schichten mit unterschiedlicher Curietemperatur.

10

Beim Abkühlen von einer Temperatur oberhalb der Curietemperatur  $T_c^1$  der ersten Schicht (10) in einem äußeren Magnetfeld richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht (11) durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes aus. Bei weiterem Abkühlen unterhalb der Curietemperatur  $T_c^2$  der zweiten Schicht (11) richtet sich diese durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen beiden Schichten antiparallel zur ersten Schicht (10) aus.

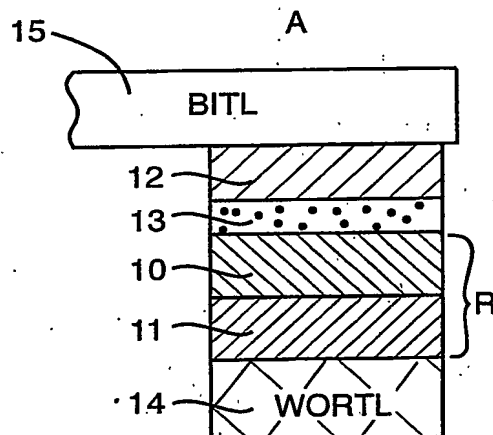
15

20

(Fig. 2A)

Figur für die Zusammenfassung

Fig. 2



## Beschreibung

Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht und mit einer derartigen Referenzschicht versehene MRAM-Speicherzelle

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine MRAM-Speicherzelle, die eine in dieser Weise hergestellte Referenzschicht aufweist.

10

Eine MRAM-Anordnung beruht bekanntlich auf ferromagnetischer Speicherung mit Hilfe des TMR-Effektes (TMR = Tunnel-Magnet-Resistance). Die beiliegende Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine bekannte, diesen TMR-Effekt nutzende MRAM-Speicherzelle. Zwischen einer Bitleitung 5 und einer Wortleitung 4, die sich kreuzen, liegt die TMR-Speicherzelle, die aus einem Schichtstapel mit einer weichmagnetischen Schicht 2, einer Tunneloxidschicht 3 und einer hartmagnetischen oder Referenzschicht besteht. Die Magnetisierungsrichtung (Pfeil) der hartmagnetischen Schicht 1 ist vorgegeben, während die Magnetisierungsrichtung (Doppelpfeil) der weichmagnetischen Schicht 2 einstellbar ist, indem durch die Wortleitung 4 und die Bitleitung 5 entsprechende Ströme  $I$ ,  $I'$  in unterschiedlichen Richtungen geschickt werden. Mit diesen Strömen kann die Magnetisierung der weichmagnetischen Schicht 2 parallel oder antiparallel zur Magnetisierungsrichtung der hartmagnetischen Schicht 1 gepolt werden. Bei paralleler Magnetisierung der beiden Schichten 1 und 2 ist der Widerstandswert des Schichtstapels niedriger als bei antiparalleler Magnetisierung, was als Zustand "0" bzw. "1" oder umgekehrt ausgewertet werden kann.

30

Da die Nettomagnetisierung der Referenzschicht das Gesamtverhalten der MRAM-Speicherzelle bestimmt, ist es wünschenswert, diese Nettomagnetisierung bei der Herstellung von MRAM-Speicherzellen gezielt einstellbar zu machen.

35

Es ist demnach Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen und eine mit einer derart hergestellten Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzellen so anzugeben, dass sich die Nettomagnetisierung der Referenzschicht und damit das Gesamtverhalten der MRAM-Speicherzelle gezielt einstellen lässt.

Ein diese Aufgabe lösendes Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch folgende Schritte:

(A) für die Referenzschicht wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld dauermagnetisierbare erste Schicht eines Materials mit einer ersten Curietemperatur  $T_c^1$  und eine zweite durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare Schicht eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur  $T_c^2$  aufweist, die deutlich geringer ist als die erste Curietemperatur  $T_c^1$ ;

(B) ein äußeres Magnetfeld wird erzeugt;

(C) das Schichtsystem wird von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur  $T_c^1$  unter Einwirkung des äußeren Magnetfelds bis unter die erste Curietemperatur  $T_c^1$  abgekühlt, wobei die Feldstärke des äußeren Magnetfelds größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht ist, so dass sich die Magnetisierung der ersten Schicht durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes ausrichtet; und

(D) das Schichtsystem wird anschließend unter die zweite Curietemperatur  $T_c^2$  abgekühlt, wobei sich die Magnetisierung der zweiten Schicht aufgrund antiferromagnetischer Kopplung zwischen der ersten und zweiten Schicht und antiparallel zur Magnetisierung der ersten Schicht ausrichtet.

Demnach wird für die Referenzschicht ein, zum Beispiel symmetrischer, künstlicher Antiferromagnet (AAF) vorgeschlagen, der die zwei antiferromagnetisch gekoppelten Schichten aufweist, die sich in ihrer Curietemperatur unterscheiden. Beim

5 Abkühlen von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur  $T_c^1$  in einem von außen angelegten Magnetfeld richtet sich die Magnetisierung der ersten Schicht des Schichtsystems durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfelds aus, sofern die äußere Feldstärke größer als die Sättigungsfeldstärke für die erste

10 Schicht ist. Bei weiterem Abkühlen bis unterhalb der zweiten Curietemperatur  $T_c^2$  richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen den beiden Schichten antiparallel zur Magnetisierungsrichtung

15 der ersten Schicht aus. Dadurch bilden die beiden Schichten, das heißt die erste und die zweite Schicht einen künstlichen Antiferromagneten (AAF).

Entscheidend ist die Erzeugung der Magnetisierungsverteilung in der zweiten Schicht durch den Phasenübergang zweiter Ordnung bei der niedrigeren Curietemperatur  $T_c^2$  der zweiten Schicht. Die in der ersten Schicht vorhandene Magnetisierungsverteilung wird dabei durch die vorhandene Kopplung (antiparallel) durch antiferromagnetische Kopplung auf die zweite Schicht übertragen.

Sind die Nettomagnetisierungen (Sättigungsfluss = Sättigungsmagnetisierung x Schichtquerschnitt) der ersten und zweiten Schicht jeweils entsprechend gewählt, kann eine Nettomagnetisierung des Schichtsystems von Null eingestellt werden, das

30 heißt dass die Magnetisierung innerhalb des so erzeugten künstlichen Antiferromagneten damit weitgehend stabil gegen äußere Felder sein sollte, solange die magnetische Kopplung zwischen den einzelnen Schichten stark genug ist.

Weiterhin kann die Nettomagnetisierung des Schichtsystems auch gezielt steuerbar eingestellt werden, indem zum Beispiel die Sättigungsmagnetisierung oder der Schichtquerschnitt der zweiten Schicht geringer gewählt ist als die bzw. der der ersten Schicht. Wenn man somit auf den Vorteil eines symmetrischen künstlichen Antiferromagneten verzichtet, bei dem gleicher Sättigungsfluss der beiden Schichten vorliegt, kann man den vorgeschlagenen Schichtaufbau zur Herstellung eines inversen künstlichen Antiferromagneten benutzen. In der TMR-Speicherzelle befindet sich dann die dünnere Schicht in Kontakt mit der Tunnelbarriere. Das bei dem üblichen Aufbau bestehende Problem, dass zurückbleibende 360°-Wände das Signal schwächen, entfällt, da jede Schicht in sich gesättigt ist und deshalb keine 360°-Wände aufweist.

Eine im Schritt (C) erzielte homogene Magnetisierung der ersten Schicht kann auch durch Zwischenschichtkopplung auf die zweite Schicht übertragen werden. Das heißt, dass im Schritt (A) ein Schichtsystem bereitgestellt wird, welches eine sehr dünne Zwischenkopplungsschicht zwischen der ersten und zweiten Schicht aufweist. Dies hat unter anderem den Vorteil, dass bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine 360°-Wände auftreten.

Für die erste Schicht und die zweite Schicht des vorgeschlagenen Schichtsystems sind insbesondere folgende Materialkombinationen bevorzugt:

(a) Erste Schicht:  $(\text{Co, Fe, Mn})_{80}(\text{Si, B})_{20}$  mit der Curietemperatur  $T_c^1 = 485^\circ\text{C}$  und zweite Schicht:  $(\text{Co, Fe, Mo})_{73}(\text{Si, B})_{27}$  mit der Curietemperatur  $T_c^2 = 210^\circ\text{C}$ . Mit dieser Materialkombination wird insgesamt ein Weich/Weich-Magnetisierungsverhalten erreicht.

(b) Erste Schicht:  $(\text{Co, Fe})_{83}(\text{Si, B})_{17}$  mit der Curietemperatur  $T_c^1 = 415^\circ\text{C}$  und zweite Schicht:  $(\text{Ni, Fe})_{78}(\text{Si, B, C})_{22}$  mit der



Curietemperatur  $T_c^2 = 260^\circ\text{C}$ . Diese Materialkombination ermöglicht ein magnetostriktives Verhalten des Schichtsystems.

- 5 (c) Erste Schicht:  $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{40}\text{Co}_{40}$  mit der Curietemperatur  $T_c^1 = 400^\circ\text{C}$  und zweite Schicht:  $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{80}$  mit der Curietemperatur  $T_c^2 = 150^\circ\text{C}$ . Dies ermöglicht ein ferrimagnetisches Verhalten des Schichtsystems.

- 10 Materialien der Zwischenschicht können Ruthenium, Kupfer oder Gold sein.

- Die magnetische Kopplung zwischen der ersten Schicht und der zweiten Schicht hängt von der Dicke der Zwischenschicht ab,  
15 die so gewählt sein muss, dass die antiferromagnetische Kopplung stattfindet.

- Eine mit diesem Verfahren hergestellte Referenzschicht und eine mit einer derartigen Referenzschicht ausgestattete MRAM-Speicherzelle weist insbesondere folgende Vorteile auf:  
20

- gezielte Einstellung der Magnetisierungsverteilung in den Einzelschichten;
- verschwindende Nettomagnetisierung bzw. eine durch Wahl der Sättigungsmagnetisierung und der Dicke der ersten und zweiten Schicht steuerbare Nettomagnetisierung des Schichtsystems;
- beim Einfrieren der ersten Schicht ist die Magnetisierung der zweiten Schicht nicht aktiv (oberhalb  $T_c^2$ );
- 30 - Übertragung der homogenen Magnetisierung von der ersten Schicht auf die zweite Schicht durch die erwähnte Zwischenschichtkopplung. Dies hat unter anderem den Vorteil, dass bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine  $360^\circ$ -Wände auftreten sollten;
- 35 - verzichtet man auf den Vorteil des symmetrischen künstlichen Antiferromagneten, bei dem ein gleicher Sättigungs-

fluss der beiden Schichten vorhanden ist, kann man den vorgeschlagenen Schichtaufbau zur Herstellung eines inversen künstlichen Antiferromagneten benutzen. Das bei dem üblichen Aufbau einer MRAM-Speicherzelle bestehende Problem, dass zurückbleibende 360°-Wände das Signal schwächen, entfällt, da jede Schicht in sich gesättigt ist und deshalb keine 360°-Wände aufweist.

Die nachfolgende Beschreibung beschreibt, Bezug nehmend auf die Zeichnung, Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Verfahrens und einer mit einer solchen Referenzschicht ausgestatteten MRAM-Speicherzelle. Die Zeichnungsfiguren zeigen im einzelnen:

Fig. 1 in einem schematischen Querschnitt die bereits erläuterte bekannte Struktur einer MRAM-Speicherzelle;

Fig. 2A und 2B schematische Querschnitte durch ein erstes und ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäß hergestellte Referenzschicht aufweisenden MRAM-Speicherzelle;

Fig. 3 in schematischem Querschnitt ein drittes Ausführungsbeispiel einer weiteren mit einer anderen erfindungsgemäßen Referenzschicht ausgestatteten MRAM-Speicherzelle und

Fig. 4 schematisch ein Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung der Referenzschicht.

Bei den in Fig. 2A und 2B schematisch veranschaulichten erfindungsgemäßen MRAM-Speicherzellen liegt zwischen einer Wortleitung (WORTL)14 und einer Bitleitung (BITL)15 ein Schichtenstapel bestehend aus zwei Schichten 10 und 11, die

ein erfindungsgemäßes Referenzschichtsystem R bilden, einer Tunnelbarriere 13 und einer weichmagnetischen Schicht 12. In Fig. 2A haben die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 des Schichtsystems R jeweils die gleiche Sättigungsmagnetisierung und den gleichen Schichtquerschnitt, so dass sich eine Nettomagnetisierung des Schichtsystems R zu Null ergibt.

Dagegen weisen in Fig. 2B die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 des Schichtsystems R der Referenzschicht eine unterschiedliche Nettomagnetisierung auf, indem der Schichtquerschnitt der zweiten Schicht 11 kleiner gewählt ist als der der ersten Schicht 10. Die dünnere zweite Schicht 11 befindet sich im Kontakt mit der Tunnelbarriere 13. Da jede Schicht, das heißt die erste Schicht 10 und die zweite Schicht 11 in sich gesättigt sind und deshalb keine 360°-Wände aufweisen, entfällt das beim bekannten Aufbau einer MRAM-Speicherzelle bestehende Problem, dass zurückbleibende 360°-Wände das Signal schwächen.

Bei dem in Fig. 3 in Form eines schematischen Querschnitts dargestellten dritten Ausführungsbeispiel hat das Schichtsystem R' der Referenzschicht einen Aufbau aus einer ersten Schicht 100, einer dünnen Zwischenkopplungsschicht 102 und einer zweiten Schicht 101. Durch diese Zwischenkopplungsschicht 102 wird die homogene Magnetisierung der ersten Schicht 100 auf die zweite Schicht 101 durch die Kopplung der Zwischenkopplungsschicht 102 übertragen. Dadurch treten bei gesättigter erster Schicht in der zweiten Schicht keine 360°-Wände auf. Im übrigen hat die in Fig. 3 schematisch dargestellte, dem dritten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen MRAM-Speicherzelle entsprechende Struktur den gleichen Aufbau wie das in Fig. 2A gezeigte erste Ausführungsbeispiel.

In Fig. 4 ist diagrammartig das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen veranschaulicht.

Für die Referenzschicht R bzw. R' wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld magnetisierbare erste Schicht eines Materials mit einer ersten Curietemperatur  $T_c^1$  und eine durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare zweite Schicht eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur  $T_c^2$  aufweist, die deutlich geringer als die erste Curietemperatur  $T_c^1$ . Die Temperaturachse T zeigt diese beiden Curietemperaturen  $T_c^1$  und  $T_c^2$ . Zum Zeitpunkt t1 wird das Schichtsystem R, R' von einer Temperatur T0 oberhalb der ersten Curietemperatur  $T_c^1$  bis unter die erste Curietemperatur  $T_c^1$  abgekühlt, wobei sich dieses Schichtsystem R, R' in einem äußeren Magnetfeld B1 (Pfeil) befindet. Dabei richtet sich die Magnetisierung der ersten Schicht 10 durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfelds B1 aus. Voraussetzung dafür ist, dass die Feldstärke von B1 größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht 10 ist.

Bei weiterem Abkühlen kann das Magnetfeld B1 abgeschaltet werden, und sobald zum Zeitpunkt t2 die Temperatur T unter die Curietemperatur  $T_c^2$  der zweiten Schicht 11 sinkt, richtet sich die Magnetisierung der zweiten Schicht 11 durch die antiferromagnetische Kopplung zwischen den beiden Schichten antiparallel zur ersten Schicht 10 aus. Dies bildet den künstlichen Antiferromagneten AAF. Wie erwähnt, und anhand der Fig. 3 beschrieben, kann die antiferromagnetische Kopplung der ersten Schicht auf die zweite Schicht auch durch Vorsehen einer Zwischenkopplungsschicht vermittelt werden.

Wie zum Zeitpunkt t2 in Fig. 4 durch einen gestrichelten Pfeil veranschaulicht, kann zur Homogenisierung der Magnetisierungsverteilung in der zweiten Schicht 11 zusätzlich beim Durchgang durch  $T_c^2$  ein Magnetfeld B2 angelegt werden, dessen Feldrichtung entgegengesetzt zur Magnetisierung der ersten Schicht 10 ist, solange dies nicht zu einer Ummagnetisierung

der in der ersten Schicht 10 eingeprägten Magnetisierung aus-  
reicht. Dafür ist eine ausreichende Koerzitiv-Feldstärke der  
ersten Schicht bzw. ein ausreichend "rechteckiges" Schaltver-  
halten der ersten Schicht 10 notwendig. Um dies zu erreichen,  
5 kann die Stabilität der Magnetisierung der ersten Schicht 10  
über eine Kopplung zu einem natürlichen Antiferromagneten  
stabilisiert werden, dessen Neel-Temperatur oberhalb der  
zweiten niedrigeren Curietemperatur  $T_c^2$  liegt.

10 Mögliche Schichtkombinationen für die erste Schicht und die  
zweite Schicht können sein

Erste Schicht 10 (100)	$T_c^1$	Zweite Schicht 11 (101)	$T_c^2$	Besonderheit
$(Co, Fe, Mn)_{80}(Si, B)_{20}$	485°C	$(Co, Fe, Mo)_{73}(Si, B)_{27}$	210°C	(weich/weich)
$(Co, Fe)_{83}(Si, B)_{17}$	415°C	$(Ni, Fe)_{78}(Si, B, C)_{22}$	260°C	(magneto- striktiv)
$Tb_{20}Fe_{40}Co_{40}$	400°C	$Tb_{20}Fe_{80}$	150°C	(ferri- magnetisch)

Die oben erwähnte Zwischenschicht 102, die in Fig. 3 darge-  
stellt ist, kann aus Ruthenium, Kupfer, Gold bestehen.

---

Bezugszeichenliste

1; R; R'	Referenzschicht
2; 12	weichmagnetische Schicht
3; 13	Tunnelbarriere
10; 100	erste Schicht
11; 101	zweite Schicht
102	Zwischenkopplungsschicht
14	Wortleitung
15	Bitleitung
$T_c^1, T_c^2$	Curietemperaturen
B1, B2	Magnetfelder
t1, t2	Zeiten

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer Referenzschicht für MRAM-Speicherzellen,

g e k e n n z e i c h n e t durch folgende Schritte:

(A) für die Referenzschicht wird ein Schichtsystem bereitgestellt, das eine durch ein äußeres Magnetfeld dauermagnetisierbare erste Schicht (10; 100) eines Materials mit einer ersten Curietemperatur ( $T_c^1$ ) und eine zweite durch antiferromagnetische Kopplung mit der ersten Schicht magnetisierbare Schicht (11; 101) eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur ( $T_c^2$ ) aufweist, die deutlich geringer ist als die erste Curietemperatur ( $T_c^1$ );

(B) ein äußeres Magnetfeld (B1) wird erzeugt;

(C) das Schichtsystem (R; R') wird von einer Temperatur oberhalb der ersten Curietemperatur ( $T_c^1$ ) unter Einwirkung des äußeren Magnetfelds (B1) bis unter die erste Curietemperatur ( $T_c^1$ ) abgekühlt, wobei die Feldstärke des äußeren Magnetfelds (B1) größer als die Sättigungsfeldstärke der ersten Schicht (10; 100) ist, so dass sich die Magnetisierung der ersten Schicht (10; 100) durch einen Phasenübergang zweiter Ordnung entlang der Feldrichtung des äußeren Magnetfeldes ausrichtet; und

(D) das Schichtsystem (R, R') wird anschließend unter die zweite Curietemperatur ( $T_c^2$ ) abgekühlt, wobei sich die Magnetisierung der zweiten Schicht (11; 101) aufgrund antimagnetischer Kopplung zwischen der ersten und zweiten Schicht (10; 100 und 11; 101) antiparallel zur Magnetisierung der ersten Schicht (10; 100) ausrichtet.

2. Herstellverfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch

die Wahl des Sättigungsflusses, insbesondere des Schichtquer-

schnitts jeweils der ersten und zweiten Schicht (10; 100 und 11; 101) eingestellt wird.

3. Herstellverfahren nach Anspruch 1 oder 2,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch die jeweils gleiche Nettomagnetisierung der ersten Schicht (10; 100) und der zweiten Schicht (11; 101) zu Null eingestellt wird.

10

4. Herstellverfahren nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15 dass die Nettomagnetisierung des Schichtsystems (R; R') durch Auswahl der zweiten Schicht (11) so dass deren Schichtquerschnitt geringer ist als der der ersten Schicht (10; 100) ungleich Null eingestellt wird.

5. Herstellverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

20 dass im Schritt (D) beim Durchgang durch die zweite Curietemperatur ( $T_c^2$ ) ein äußeres Magnetfeld (B2) angelegt wird, dessen Feldrichtung entgegengesetzt zur Magnetisierungsrichtung der ersten Schicht (10; 100) ist.

6. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

30 dass im Schritt (A) ein Schichtsystem (R') bereitgestellt wird, das eine sehr dünne Zwischenkopplungsschicht (102) zwischen der ersten und zweiten Schicht (100 und 101) aufweist und dass die antiferromagnetische Kopplung in Schritt (D) durch die Zwischenkopplungsschicht (102) vermittelt wird.

7. Herstellverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,



dass das Material der ersten Schicht (10; 100) gewählt ist aus der Gruppe, die  $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Mn})_{80}(\text{Si}, \text{B})_{20}$ ;  $(\text{Co}, \text{Fe})_{83}(\text{Si}, \text{B})_{17}$ ;  $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{40}\text{Co}_{40}$  aufweist, und dass das Material der zweiten Schicht gewählt ist aus der Gruppe, die  $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Mo})_{73}(\text{Si}, \text{B})_{27}$ ;  $(\text{Ni}, \text{Fe})_{78}(\text{Si}, \text{B}, \text{C})_{22}$ ;  $\text{Tb}_{20}\text{Fe}_{80}$  aufweist.

8. Herstellverfahren nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das Material der Zwischenkopplungsschicht (102) gewählt ist aus der Gruppe, die Ruthenium, Kupfer, Gold aufweist.

9. MRAM-Speicherzelle,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sie eine Referenzschicht aufweist, die aus einem Schichtsystem (R; R') besteht; das eine erste Schicht (10; 100) eines Materials mit einer ersten Curietemperatur ( $T_c^1$ ) und eine zweite Schicht (11; 101) eines Materials mit einer zweiten Curietemperatur ( $T_c^2$ ) aufweist, die deutlich unter der ersten Curietemperatur ( $T_c^1$ ) liegt, und dass die Referenzschicht durch das in einem der Ansprüche 1 bis 8 beschriebene Verfahren hergestellt ist.

Fig. 1

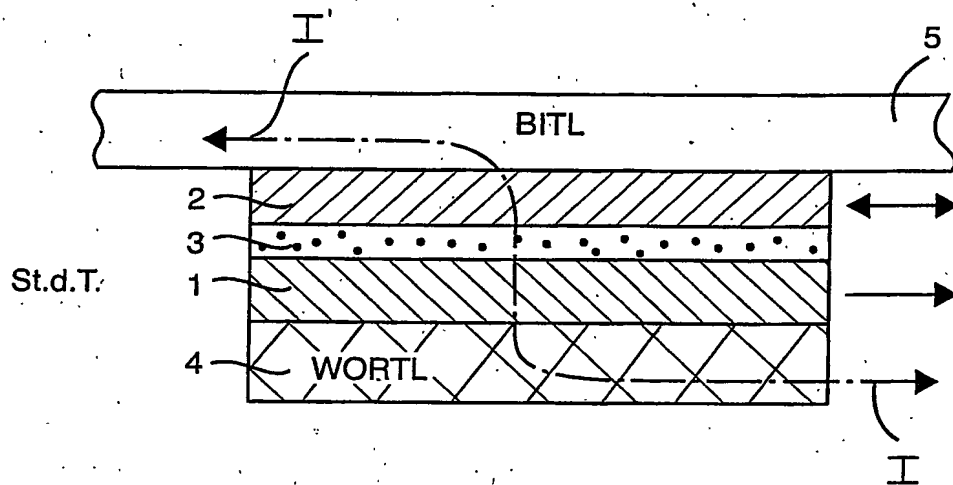


Fig. 2

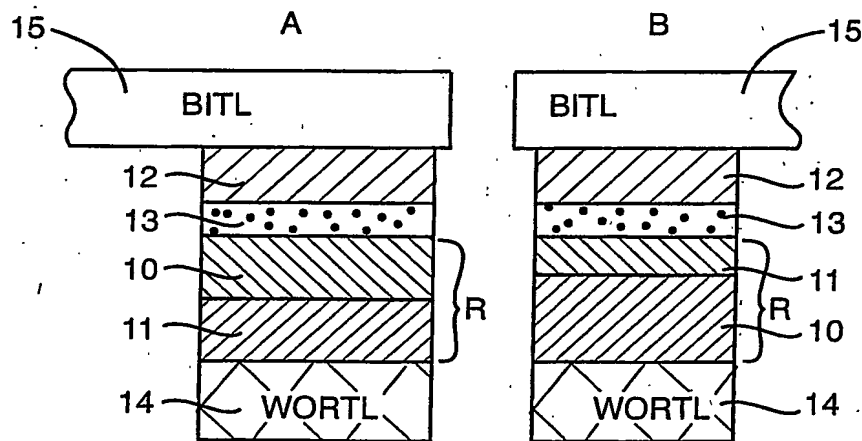


Fig. 3

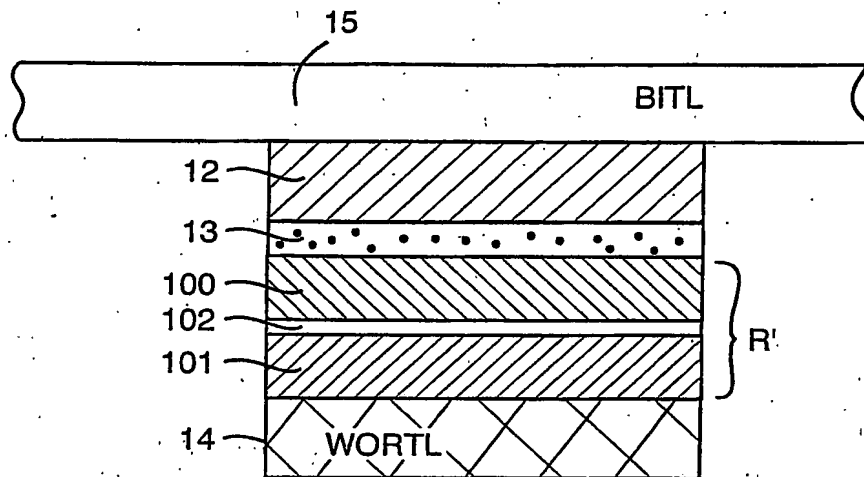
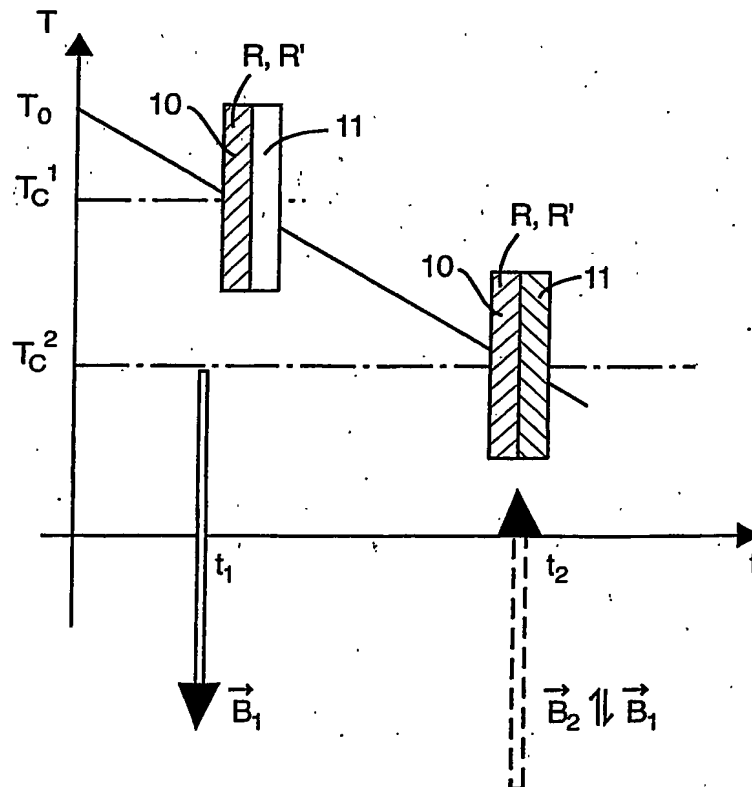


Fig. 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**